

CAE: PIÙ OLTRE

I più avanzati strumenti di simulazione virtuale permettono di realizzare analisi multidisciplinari e di studiare la dinamica di sistemi multicorpo con comportamento flessibile

di Silvestro Blatto

Mai come oggi è così evidente e attuale la concezione di Galilei riguardo alla necessità di un modello teorico, nell'ambito della scienza e della tecnologia, nonché della differenza tra il *sapere* (inteso come essere a conoscenza di un dato di fatto) e l'*intender* la cagione, vale a dire tra il prendere atto di un determinato fenomeno ed il capire perché questo avvenga. Per altro, già il grande Leonardo affermava che *quelli che s'innamorano della pratica senza la scienza, sono come i nocchieri che entrano in naviglio senza timone o bussola, che mai hanno certezza dove si vadano*.

Solo investigando e indagando sul reale comportamento fisico dei sistemi è possibile realizzare un progressivo allargamento delle nostre conoscenze pertinenti ad una determinata realtà di fatto e, assieme a Bacone, contrapporre al *non più oltre* degli antichi il *più oltre* d'oggi.

Con l'utilizzo di nuovi strumenti di simulazione virtuale caratterizzati da sempre più elevate prestazioni, capacità e funzionalità, esiste il modo di ampliare le nostre conoscenze e quindi di realizzare

Modi di instabilità per carico di punta di una bottiglia in plastica vuota ottenuti attraverso un'analisi non-lineare con Samcef Mecano.



prodotti contraddistinti da una migliore qualità intrinseca.

Analizziamo, quindi, uno di questi software.

Samcef (Système d'Analyse de Milieux Continus par Elements Finis), il cui acronimo in italiano potrebbe suonare come Sistema d'Analisi dei Mezzi Continui ad Elementi Finiti, nasce in



Francia a metà degli anni sessanta sulla spinta dei costruttori aerospaziali per poi diventare, circa dieci anni dopo, un codice di ricerca e sviluppo all'Università di Liegi presso il Laboratoire des Techniques Aéronautiques et Spatiales. Nel 1986 è stato rilevato dalla società belga Samtech con lo scopo di essere sviluppato e commercializzato come un prodotto d'analisi ad Elementi Finiti di tipo general purpose.

Col tempo, il software si è verticalizzato in settori specifici, coprendo, con un largo spettro, il settore dell'analisi delle strutture.

Uno dei tanti, quindi, a lottare nell'agone del calcolo strutturale con calibri del tipo Abaqus, Adina, Ansys, Marc, MSC/Nastran, giusto per fare qualche nome.

Perché mai, dunque, scrivere di un altro software, relativamente nuovo - almeno dal punto di vista della diffusione in Italia? Quali caratteristiche avrà mai di così rilevante importanza?

Per capire, occorre, a questo punto, descrivere brevemente che cosa offre e com'è composto il prodotto.

STRUTTURA DEL SOFTWARE

Samcef Field è un ambiente grafico autonomo, *stand-alone* come si dice, che comprende un modellatore geometrico e viene utilizzato per la definizione dei dati di input e per la visualizzazione dei risultati: costituisce cioè quello che, per gli addetti ai lavori, è il *pre- e post-processor*.

Il modellatore, costruito su un motore

grafico basato su open cascade, è un vero e proprio CAD tridimensionale parametrico variazionale, con cui è possibile generare assieme di elementi solidi e di superfici, importare geometria (in maniera diretta o con i formati standard) ed eseguire operazioni varie sui corpi.

Questo modulo, poi, gestisce gli ulteriori dati necessari per il calcolo, vale a dire le caratteristiche dei materiali, gli spessori delle shell, le proprietà delle travi, ecc. nonché le condizioni al contorno essenziali per l'analisi, i carichi e i vincoli tra le parti del sistema, come, ad esempio, molle o giochi (gap).

Fondamentale, poi, è la fase di generazione della mesh, con tutte le possibilità d'interazione da parte dell'utente per ottenere il miglior risultato coerente con i suoi obiettivi.

Sempre da Samcef Field si può accedere ai solutori interni, con i relativi parametri, per il calcolo lineare o non lineare, oppure scegliere solutori esterni.

Ma se essenziale è la fase d'introduzione dei dati d'input, non



Modo di vibrare del rotore di una turbomacchina corrispondente ad una velocità critica ottenuta attraverso un'analisi con Samcef Rotor. (Fonte: Ecutec S.L./Barcellona)

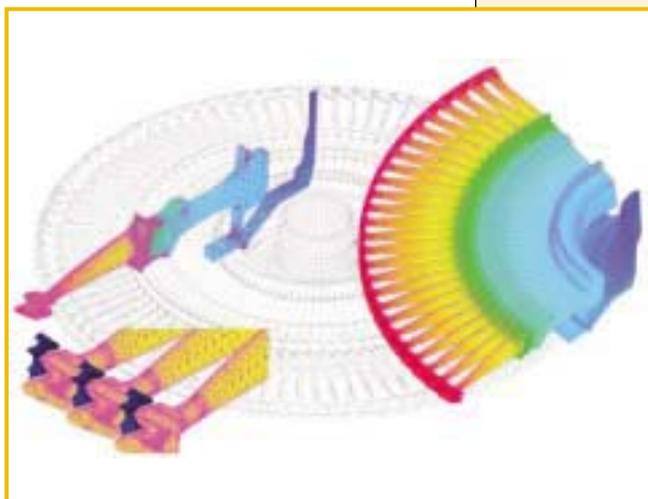
meno fondamentale si rivela l'analisi dei risultati; la visualizzazione dell'output deve evidenziare l'intento per cui è stato realizzato il calcolo, fornire cioè indicazioni e informazioni sulle grandezze interessate e in gioco. Questo obiettivo è stato centrato in pieno dal prodotto, in grado di offrire in maniera semplice quanto serve.

Non manca, poi, la possibilità di generare in automatico il rapporto di calcolo, personalizzabile secondo le esigenze aziendali, in formato HTML.

È importante rilevare che *Samcef Field* è un unico ambiente comune a tutti i vari moduli disponibili.

Samcef Linear è il modulo tramite il quale si possono condurre analisi statiche lineari, delle frequenze proprie e dei corrispondenti modi di vibrare, realizzare calcoli di dinamica avanzata in regime transitorio nonché determinare i carichi critici d'instabilità con le corrispondenti deformazioni.

Nell'ambito delle analisi estese è possibile studiare strutture realizzate con materiali compositi, eseguire, anche con l'uso di elementi speciali, indagini che coinvolgono la meccanica della frattura e analizzare strutture assialsimmetriche con



carichi sviluppabili in serie di Fourier.

Samcef Mecano è un unico software integrato in grado di risolvere problemi non lineari relativi a strutture o meccanismi. In particolare, l'offerta si articola attraverso diverse possibilità:

Mecano Structure, che si occupa, come dice il nome, d'analisi non lineari (per geometria e/o materiali) statiche e dinamiche

delle strutture, *Mecano Motion*, rivolto all'esame di meccanismi flessibili in ambito statico, cinematico e dinamico e, infine, *Mecano Cable*, che si dedica agli studi di sistemi di cavi sottoposti a carichi elettrodinamici e aerodinamici.

Interessante, nel modulo dedicato alla cinetodinamica, la possibilità di utilizzare un'ampia gamma di giunti cinematici rigidi o flessibili di tipo classico (cerniera, giunto cilindrico o sferico, pattino, ...) così come di specifici elementi già prefigurati come ingranaggi, pulegge, giunti idraulici, ecc.

È importante rilevare che la struttura multidisciplinare del software rende possibili studi statici, cinematici, dinamici di modelli meccanici in ambito lineare e non lineare.

Samcef Thermal realizza analisi termiche in regime stazionario e transitorio in condizioni di conduzione, convezione e irraggiamento. Al solito i risultati di un calcolo termico possono costituire l'input d'analisi strutturali utilizzando uno dei moduli precedentemente elencati.

Samcef Rotor è una soluzione specificamente realizzata per l'analisi dinamica di strutture contenenti elementi rotanti; è possibile calcolare, in maniera semplice e guidata, velocità critiche, avere risposte in frequenza a carichi non bilanciati o asincroni, determinare risultati in regime transitorio, realizzare analisi statistiche e di sensibilità rispetto alla variazione di alcuni parametri.

Europlexus è un software per l'analisi non lineare (grandi spostamenti e/o rotazioni e grandi deformazioni) di sistemi con

Disco palettato di uno stadio di turbina su cui sono state fatte analisi statiche, dinamiche e termiche. Il sistema è modellato sfruttando la simmetria ciclica e tenendo conto del contatto tra le estremità esterne delle palette. L'azione delle forze centrifughe crescenti con la velocità, determina la plasticizzazione delle zone d'attacco della palette.



Analisi dinamica del movimento di una macchina utensile a cinematica parallela (PKM), denominata 'Morpheus', realizzata da ITIA-CNR. Il modello, prodotto con Samcef Mecano, è composto da parti rigide e da parti flessibili modellate a elementi finiti, sulle quali sono evidenziate le mappe di sforzi che variano dinamicamente durante il movimento.

interazione fluido-struttura soggetti a carichi dinamici in transitorio veloce che possono indurre in collasso la struttura stessa.

Si possono quindi simulare esplosioni, urti e impatti di proiettili sui componenti, verifiche dinamiche di tubazioni in presenza di fluido interno, propagazioni di onde.

L'analisi fluidodinamica è basata sia sul Metodo degli Elementi Finiti che su quello dei Volumi Finiti e il fluido può essere comprimibile, mono- o multicomponente, mono- o multifase.

Boss quattro è, infine, un prodotto che può contribuire a dare una svolta decisiva agli studi in atto.

Quale combinazione di parametri progettuali è in grado di fornire una risposta adeguata in accordo con le specifiche?

Qual è l'impatto di alcuni parametri sui criteri di progettazione?

Com'è possibile realizzare una progettazione ottimizzata in accordo a taluni criteri?

A queste, e altre domande ancora, provvede a dare una risposta l'attuale software. In pratica, è possibile: realizzare studi parametrici per esplorare i limiti di un precisato ambito progettuale;

effettuare *analisi di sensibilità* per confrontare gli effetti di specifici parametri su una determinata risposta; utilizzare il *metodo Monte Carlo* per vedere l'effetto di variazioni statistiche su un certo modello e valutare, ad esempio, qual'è la probabilità di rottura, piuttosto che controllare che un determinato spostamento di un punto sia maggiore di un limite stabilito;

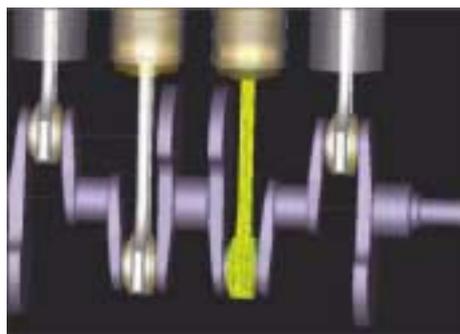
ottimizzare un progetto secondo specifici parametri, valutandone gli effetti; *impostare esperimenti* con metodologie che minimizzano il numero delle prove e/o delle simulazioni numeriche necessarie per sondare in maniera comunque esaustiva l'ambito delle soluzioni.

Queste tecniche, note comunemente come *Design Of Experiment (DOE)*, utilizzano

algoritmi legati alle teorie quali Taguchi Table, Box&Wilson, ecc. e sono formulate sul concetto di ottenere il massimo delle informazioni sulle soluzioni con il minimo numero di campioni (prove sperimentali o calcoli). *Boss quattro* può risolvere problemi molto complessi utilizzando i più avanzati algoritmi d'ottimizzazione, organizzando e gestendo, in maniera parallela o sequenziale, i risultati e i dati d'input di diversi CAD/CAE o procedure esterne, anche d'origine non Samcef. *Safe*, sviluppato da Samtech, ma di proprietà Airbus, è, da ultimo, una soluzione per la previsione della vita a fatica e l'analisi della propagazione delle cricche per le strutture metalliche.

IL VALORE AGGIUNTO

Convalidato da oltre quarant'anni d'esperienza nel settore aerospaziale, questo prodotto, che nel mercato dei programmi CAE si posiziona nella fascia alta, ha anche un prezzo competitivo



(orientativamente da 10.000 a 50.000 Euro passando dalla versione lineare a quella completa) e sembra avere molte frecce al suo arco.

Funzionale, modulare, fornito di un pre- e post-processor unico per tutti i moduli, dotato di una ricca libreria di elementi (alcuni dei quali con caratteristiche sicuramente interessanti), aperto verso le personalizzazioni, dotato di un linguaggio di programmazione interno molto evoluto, ma, soprattutto, in grado di operare in un ambito di analisi *multidisciplinari* e di realizzare studi dinamici relativamente a sistemi *multicorpo* flessibili.

Per quanto riguarda il primo settore d'indagine, con riferimento a quanto abbiamo già scritto su un numero precedente di questa stessa rivista, si tratta di utilizzare un unico programma FEM per simulare un'ampia gamma di fenomeni fisici accoppiati in ambiti in cui essi interagiscono, determinando il funzionamento di uno specifico meccanismo o di un sistema.

In pratica, il software è in grado di riprodurre l'interazione tra diversi domini

Simulazione multicorpo di un sistema flessibile albero a gomiti-biella. Nella figura si evidenzia lo stato di tensione della biella per una determinata posizione angolare e la pressione di contatto sulla manovella dell'albero a gomiti.

fisici in un'unica fase di calcolo e in un unico ambiente; si parla così d'analisi *multidisciplinari* o *accoppiate* o di *multiphysics*.

Quando ci si riferisce ai sistemi multicorpo (altresì conosciuti come Multibody Systems o MBS) s'intende, invece, un sistema meccanico costituito da parti interconnesse cinematicamente mediante vincoli che ne limitano i moti relativi.

I componenti dell'insieme possono essere considerati rigidi o deformabili, sono collegati da elementi elastici o dissipativi e il sistema può compiere grandi spostamenti e rotazioni nello spazio tridimensionale.

Per inciso, il modello matematico che rappresenta il prototipo *virtuale* del sistema reale, implementato attraverso un programma di calcolo, ne simula il comportamento dinamico risolvendo numericamente il set d'equazioni che governa il moto di tali sistemi; le suddette equazioni sono molto complesse,

Simulazione cinetodinamica del movimento di un mezzo cingolato sopra un ostacolo. L'analisi è stata eseguita tenendo conto della flessibilità del cingolo articolato.

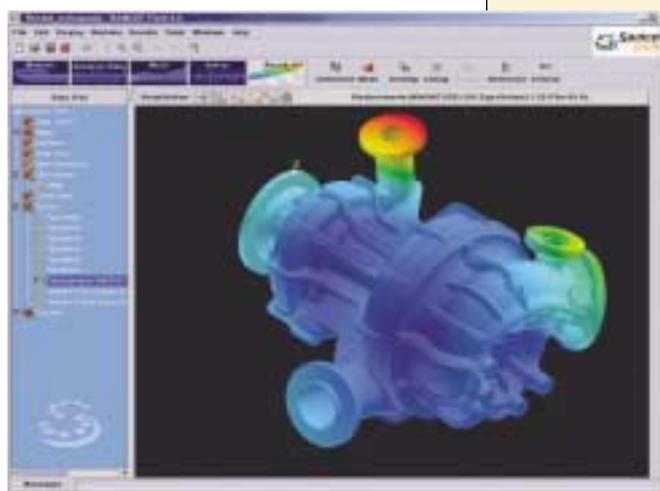


altamente non lineari e, di solito, non risolvibili analiticamente in forma chiusa. La maggior parte dei programmi di simulazione cinetodinamica, soprattutto se dedicati unicamente a quest'attività, funziona solo per corpi rigidi; di questi, ovviamente, sono considerate le relative caratteristiche inerziali (massa, momenti d'inerzia, ecc.).

La vicenda, allora, si complica se si desidera tener conto dell'effetto elastico dei corpi, cioè della loro flessibilità, o, in altre parole, di come la parte in oggetto si deforma per effetto di carichi esterni.

Generalmente, l'informazione connessa alla deformazione è intrinsecamente legata a un'analisi FEM. Come fare, quindi, a realizzare un'analisi dinamica corretta di un corpo (o assieme) flessibile e avere contemporaneamente lo stato tensionale interno per ogni istante della storia di carico?

Per descrivere un comportamento *flessibile*, con un programma del tipo precedentemente illustrato, qualora sia disponibile questa possibilità, occorre realizzare con un programma FEM di calcolo strutturale un'accurata analisi



modale (modi propri di vibrare) da fornire al programma di cinetodinamica in sostituzione della geometria *rigida* del componente.

Con Samcef, dotato di una diversa formulazione poiché è anche contemporaneamente programma strutturale, si realizza invece tutto automaticamente all'interno del software.

CONCLUSIONI

Il grande valore aggiunto di un programma come Samcef sta proprio in queste sue particolarità: con un unico programma e in un unico ambiente è possibile effettuare simulazioni multidisciplinari, vale a dire analisi realizzate in maniera contemporanea per diversi ambiti della fisica. Dal punto di vista dinamico, poi, si possono studiare sistemi multicorpo con comportamento flessibile in ambito anche non lineare e con parti a contatto; anche in questo caso l'analisi avviene in modo simultaneo e senza passaggi tra vari diversi software. Da non tralasciare, infine, il modulo che consente ottimizzazioni, legate proprio alle analisi accoppiate, secondo parametri progettuali definiti dall'utente.

Questo lo hanno capito aziende come Alenia, Airbus, Eads, Esa, Psa, Renault, Ford, Daimler-Chrysler, Audi, VW, Fiat Auto, ABB, Enel, Aermacchi, ecc. ma l'elenco è notevolmente più lungo.

A domande del tipo: come posso ridurre i tempi dell'elaborazione tecnica concernente il prodotto? sarò in grado di diminuire i rischi d'errori nella progettazione? troverò una soluzione alle premesse di base impostate nella fase concettuale? sarà sicuramente più facile dare una positiva e corretta risposta con questo software e, nel contempo, assistere a un progressivo affermarsi di una nuova concezione del lavoro.

L'ingegner Silvestro Blatto, consulente CAx, è il General Manager della Softidea S.a.s. di Milano.

L'immagine rappresenta l'interfaccia grafica di Samcef Field, il pre- e post-processor della soluzione Samcef. Il modello raffigurato è quello di una turbopompa per applicazioni spaziali; i risultati si riferiscono alla visualizzazione dei modi propri di vibrare con le iso-bande dello spostamento.